

32/446(285)2<sup>e</sup>ex

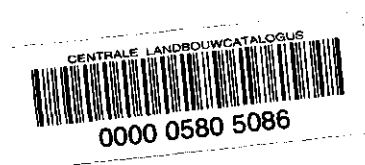
**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

**Verkenning van mogelijke waterbeheersmaatregelen ter  
vermindering van de fosfaatuitspoeling uit  
landbouwgronden met modelberekeningen**

**L.J.J. Jeurissen**

**Rapport 285**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1993**



**27 JAN. 1994**

18u 50go 72

## REFERAAT

Jeurissen, L.J.J., 1993. *Verkenning van mogelijke waterbeheersmaatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden met modelberekeningen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 285. 46 blz.; 10 fig.; 8 tab.; 11 ref.; 2 aanh.

Om aan de kwaliteitsdoelstelling voor het oppervlaktewater te voldoen wordt onderzoek verricht naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden. Het onderzoek richt zich op het stroomgebied van de Schuitenbeek. Onderwerp van deze modelstudie zijn effectgerichte, hydrologische maatregelen. Acht maatregelen zijn gesimuleerd en vergeleken met de huidige situatie, voor de overschrijdingskans van het grondwater, de onderlinge verhouding tussen de verschillende afvoertermen van de waterbalans, en de fosfaatuitspoeling.

De meest effectieve maatregel is het handhaven van een hoog peil in de sloten en drainage via diepe drains met de ontwateringsbasis op het niveau van de slootbodem. De af- en uitspoeling van fosfaat wordt met 95% gereduceerd. Voor de waterhuishouding heeft deze maatregel weinig gevolgen. Aanbevelingen zijn geformuleerd voor nader onderzoek naar deze maatregel.

Trefwoorden: fosfaatafspoeling, fosfaatuitspoeling, hydrologie, simulatie, perceelontwatering, peilbeheer, grasland

ISSN 0927-4499

©1993 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen. Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812. VISI-NL

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw De 'Dorschkamp' (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

## **Inhoud**

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Uitgangspunten en randvoorwaarden	15
3 Mogelijke hydrologische maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling	17
4 Simulatieberekeningen	21
4.1 Opzet van de berekeningen	21
4.2 Toegepaste modellen	22
4.2.1 Het model SWACROP	22
4.2.2 Het model ANIMO	24
4.3 Bepaling ontwateringskarakteristiek	25
4.4 Gegevens huidige situatie en maatregelen	27
5 Resultaten en discussie	31
6 Conclusies en aanbevelingen	39
Literatuur	41

## **Tabellen**

1 Huidige ontwateringssituatie	28
2 Fosfaatconcentratie in het bodemvocht (voor bemesting), hoeveelheid geadsorbeerd fosfaat en maximaal adsorbeerbare hoeveelheid fosfaat, alsmede de fosfaatverzadigingsgraad.	29
3 Ontwateringssituatie bij de diverse maatregelen	30
4 Procentuele verdeling van de water- en fosfaatafvoer over de verschillende afvoerposten in de huidige situatie	31
5 Gemiddelde grondwaterstand voor de diverse hydrologische maatregelen	32
6 Kans op grondwaterstand ondieper dan 50 cm - mv.	33
7 Gemiddelde waterbalans in mm.jaar <sup>-1</sup>	33
8 Afvoertermen waterbalans in % van de huidige situatie	34

## **Figuren**

1 Probleemsituatie en hydrologische aanpak; a) fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater tijdens hoge grondwaterstand, b) Verlaging hoge grondwaterstanden, c) afbuiging van stroombanen door de fosfaat-onverzadigde ondergrond	11
2 Overzichtskaart van het Schuitenbeekgebied, met TNO-peilbuizen gebruikt voor calibratie SWACROP	13
3 Gebruikte terminologie; a) afvoer uit het perceel (drainage), b) aanvoer naar het perceel (infiltratie), c) ontwatering via buizen en infiltratie	17
4 Schematische weergave van a) de nulsituatie, en b) waterbeheersmaatregelen a, b, c, en f ter vermindering van de fosfaatuitspoeling	19
5 Verdeling van de drainagefluxen van drainbuizen en sloten over de compartimenten van het bodemprofiel	23
6 Verloop van het slootpeil en de grondwaterstand ten gevolge van maatregel f (hoog slootpeil en drainage via drains). Het maximum peil is 20 cm - mv.; als minimum peil geldt de slootbodem op 80 cm - mv.	24
7 Grondwaterstand-afvoer-relatie van het natte deel van het Schuitenbeekgebied	26
8 Het modelprofiel in een schematische doorsnede van het Schuitenbeekgebied. De flux door de onderrand modelprofiel is de resultante van eventuele diepere drainagesystemen, kwel vanuit het tweede watervoerend pakket, en regionale stroming	28
9 Grondwaterstandsduurlijn van de huidige situatie en de gemiddelde grondwaterstandsduurlijn van 5 TNO-buizen	31
10 De afvoertermen van de waterbalans en de fosfaatbalans van de verschillende waterbeheersmaatregelen	34

## **Aanhangsels**

1 Grondwaterstandsduurlijnen voor de huidige situatie en 8 hydrologische maatregelen	39
2 Tijdsverloop van het peil voor 3 hydrologische maatregelen; b3) intensievere drainage en tijdelijk een hoger peil, c) peilbeheer, en f) hoog peil in de sloten + drainage via diepe drains	41

## Woord vooraf

De modelstudie die in dit rapport is beschreven, heeft DLO-Staring Centrum in de periode januari 1990 t/m januari 1991 uitgevoerd in opdracht van het FOMA (Financierings Overleg Mest- en Ammoniakonderzoek) en de projectgroep BOVAR (Bestrijding Overmatige Algengroei in de Randmeren).

De begeleidingsgroep was samengesteld uit:

dr. Th.J. van de Nes	- Provincie Gelderland (voorzitter)
ing. W.J.A. Tjeenk Willink	- Rijkswaterstaat, Directie Flevoland (secretaris)
ir. Y. Geelen	- Dienst Landinrichting en Landbouw, Provincie Gelderland
drs. E. Jagtman	- Rijkswaterstaat, Directie Flevoland
ing. G.J. Koerselman	- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
ir. M. van Oirschot	- Rijkswaterstaat, DBW/RIZA
ing. J. Paas	- Provincie Gelderland
drs. W. Rietveld	- Provincie Gelderland

De auteur is dank verschuldigd aan Ir. P. Groenendijk voor zijn bijdrage aan de modellering van het effect van de hydrologische maatregelen op de fosfaatuitspoeling. Tevens is dank verschuldigd aan Ir. R. Kruijne voor het kritisch doorlezen en afronden van dit rapport.

## Samenvatting

In opdracht van BOVAR en FOMA heeft DLO-Staring Centrum van januari 1990 t/m januari 1991 een modelstudie verricht naar hydrologische maatregelen ter vermindering van de fosfaatsuitleiding uit landbouwgronden. Het studiegebied is het stroomgebied van de Schuitenbeek, in de Gelderse Vallei.

Deze studie betreft een hydrologische verkenning van acht mogelijke waterbeheersmaatregelen op perceelsniveau. De onderzochte maatregelen zijn gericht op vermindering van de frequentie van hoge grondwaterstanden, en/of de (gedeeltelijke) uitschakeling van de ontwateringsfunctie van perceelssloten. Belangrijke randvoorwaarden zijn, dat er geen noemenswaardige beïnvloeding van de regionale hydrologie mag optreden, en dat er geen nadelige gevolgen voor het landbouwkundig gebruik van de percelen mogen zijn.

Voor de berekeningen zijn een een-dimensionaal of pseudo-twee-dimensionaal hydrologisch model (SWACROP) en stoftransport model (ANIMO) gebruikt. Om maatregelen met gestuwde slootpeilen te kunnen simuleren is SWACROP uitgebreid met de mogelijkheid om voor een drainagesysteem de ontwateringsbasis te berekenen afhankelijk van de afvoer uit of de aanvoer naar het perceel.

Voor een fictief perceel, dat representatief is voor de natte gronden in het Schuitenbeekgebied, zijn de benodigde data verzameld uit de literatuur, en gecombineerd met gegevens van veldonderzoek. Een representatieve grondwaterstand-afvoer-relatie is verkregen op basis van berekende afvoeren bij gemeten grondwaterstanden.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een periode van 6 jaar, zowel voor de huidige situatie als voor de meest optimale uitvoering van elke maatregel. De resultaten worden gepresenteerd in termen van de gemiddelde, jaarlijkse waterbalans en de fosfaatuit- en afspoeling.

De maatregelen die zijn doorgerekend voldoen alle aan genoemde hydrologische en landbouwkundige randvoorwaarden. Het berekende effect van de maatregelen op de fosfaatbelasting wordt besproken aan de hand van de kans op een grondwaterstand tot in de fosfaatverzadigde laag, de verhouding van de afvoertermen van de waterbalans, en de fosfaatsuitleiding per drainagesysteem.

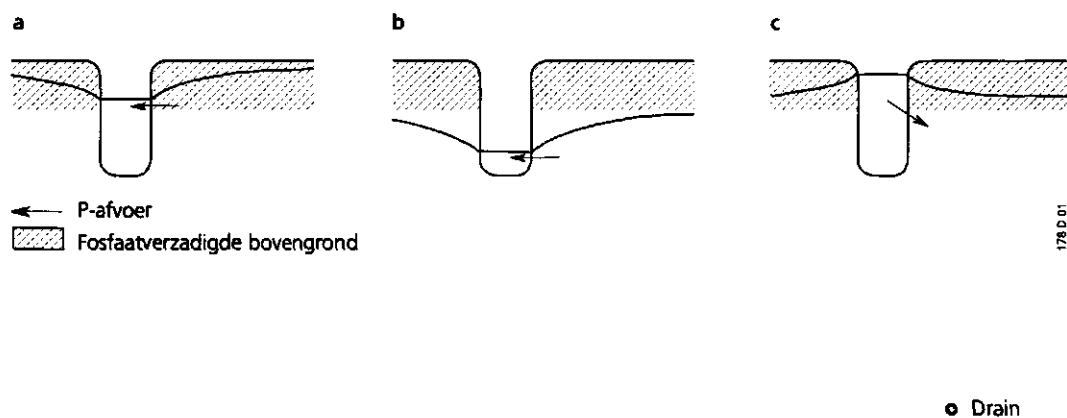
De meest perspectiefrijke maatregel bestaat uit het handhaven van een hoog peil in de sloten en drainage via diepe drains met de ontwateringsbasis op het niveau van de slootbodem. Ten opzichte van de nulsituatie wordt de af- en uitspoeling van fosfaat met 95% gereduceerd. Voor de waterhuishouding heeft deze maatregel weinig gevolgen.

Voordat deze maatregel in de praktijk en op grote schaal wordt toegepast, verdient onder meer het volgende aanbeveling: het simuleren van het transport en de sorptie van fosfaat rond de drainbuis en de sloot dient met een twee-dimensionaal model te gebeuren. Ook moeten de gevolgen op lange termijn onderzocht worden.

## 1 Inleiding

Om bij een fosfaatverzadigde bodem op korte termijn de uitspoeling van fosfaat te verminderen zijn (brongerichte) bemestingsmaatregelen niet voldoende (Steenvoorden et al., 1988, Breeuwsma et al., 1989). Om aan de kwaliteitsdoelstellingen voor het oppervlaktewater (0,15 mg totaal-P per liter) te kunnen voldoen zijn aanvullende (effectgerichte) maatregelen nodig. In opdracht van BOVAR en FOMA heeft DLO-Staring Centrum van januari 1990 t/m januari 1991 onderzoek verricht naar maatregelen ter vermindering van fosfaatsuitspoeling uit landbouwgronden. Het onderzoek richtte zich in het bijzonder op het stroomgebied van de Schuitenbeek, in de Gelderse Vallei.

Fosfaatsuitspoeling naar het oppervlaktewater treedt vooral op tijdens hoge grondwaterstanden. In die situatie stroomt water met verhoogde fosfaatconcentratie via de lagen met een verhoogde fosfaattoestand naar het oppervlaktewater en kan het fosfaat niet of nauwelijks aan de bodem gebonden worden. Via waterbeheersmaatregelen (buisdrainage, peilbeheer, e.d.) kunnen pieken in de grondwaterstand voorkomen worden, en/of de ondiepe stroombanen richting oppervlaktewater dieper afgebogen worden, zodat meer fosfaat gebonden kan worden (figuur 1). De afspoeling over het maaiveld van fosfaat kan, bij de vaak bolle graslandpercelen, verminderd worden door egalisering of verhoging van het maaiveld langs de sloten. Randvoorwaarde bij dergelijke maatregelen is wel dat de fosfaatgiften niet hoger zijn dan de gewasonttrekking.



**Fig. 1 Probleemsituatie en hydrologische aanpak; a) fosfaatsuitspoeling naar het oppervlaktewater tijdens hoge grondwaterstand, b) Verlaging hoge grondwaterstanden, c) afbuiging van stroombanen door de fosfaat-onverzadigde ondergrond**

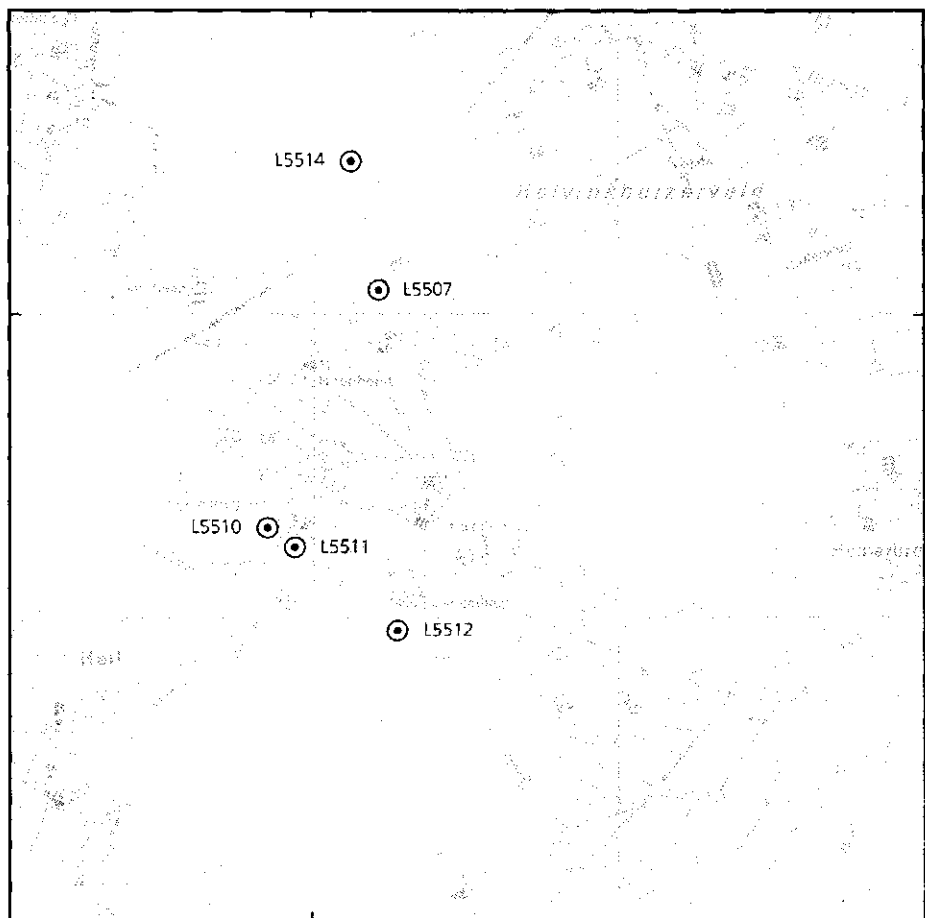
Het doel van het onderzoek is de effecten en gevolgen van bovengenoemde hydrologische maatregelen op 'korte' termijn op de waterhuishouding en de fosfaatsuitspoeling te berekenen. Het betreft een hydrologische verkenning van de mogelijkheden. Een analyse van de economische en maatschappelijke aspecten is niet uitgevoerd. Zo'n analyse is van belang nadat de resultaten uit deze verkennende



studie geverifieerd zijn in het vervolg van het project.

In eerste instantie is uitgegaan van een-dimensionale (of pseudo-twee-dimensionale) hydrologische modellen en stoftransport modellen (SWACROP en ANIMO). Er is gebruik gemaakt van zowel literatuur- als veldgegevens. Deze indicatieve berekeningen geven aan welke maatregelen perspectief bieden. In tweede instantie zullen meer gedetailleerde berekeningen uitgevoerd worden met een twee-dimensionaal hydrologisch model en stoftransportmodel. Een twee-dimensionaal model is nodig om het transport rond drain en sloot goed te beschrijven. Van de eerstgenoemde studie wordt in dit rapport verslag gedaan.

Het stroomgebied van de Schuitenbeek helt sterk van oost naar west (in het zuiden circa 0,2%, in het noorden circa 0,4%, figuur 2). Het bestaat vrijwel geheel uit zandgronden. Het hoger gelegen, oostelijke deel van het gebied heeft nauwelijks zichtbare afwatering. In het kader van fosfaatbelasting van het oppervlaktewater is het gedeelte van het stroomgebied met (matig) natte gronden en zichtbare afwatering van belang.



Top. krt. schaal 1 : 25 000 blad 32E Nijkerk

**Fig. 2** Overzichtskaat van het Schuitenbeekgebied, met TNO-peilbuizen gebruikt voor calibratie SWACROP

Dit is het gebied ten westen van de lijn Putten-Voorthuizen. Hier komen voornamelijk veldpodzolgronden voor en in de beekdalen beekkeerd- en beekvaaggronden. Op de dekzandruggen tussen de beekdalen liggen ook enkeerdgronden. Het bodemgebruik is voor circa 80% grasland. De fosfaatverzadigingsgraad is bij circa 80% van de landbouwgronden groter dan 25% (Breeuwsma et al., 1989). Dat wil zeggen dat bij deze gronden de fosfaatgehalten in het grondwater op GHG-niveau de norm voor de basiskwaliteit van het oppervlaktewater (0,15 mg totaal-P per liter) overschrijden (Van der Zee et al., 1990).

De afwatering van het gebied wordt verzorgd door enkele zijbeken van de Schuitenbeek, (berm)sloten en vrij ondiepe perceelssloten of greppels. De graslandpercelen zijn over het algemeen bol. Het merendeel van de sloten valt 's zomers droog.

De uitgangspunten en randvoorwaarden worden beschreven in hoofdstuk 2. De diverse hydrologische maatregelen volgen in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 worden de opzet, achtergronden en uitgangspunten van de modelberekeningen behandeld. De resultaten van de modelstudie worden besproken in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 worden conclusies getrokken en enkele aanbevelingen gedaan.

## 2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Bij de analyse van de effectiviteit van de hydrologische maatregelen worden de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden gehanteerd.

### Uitgangspunten:

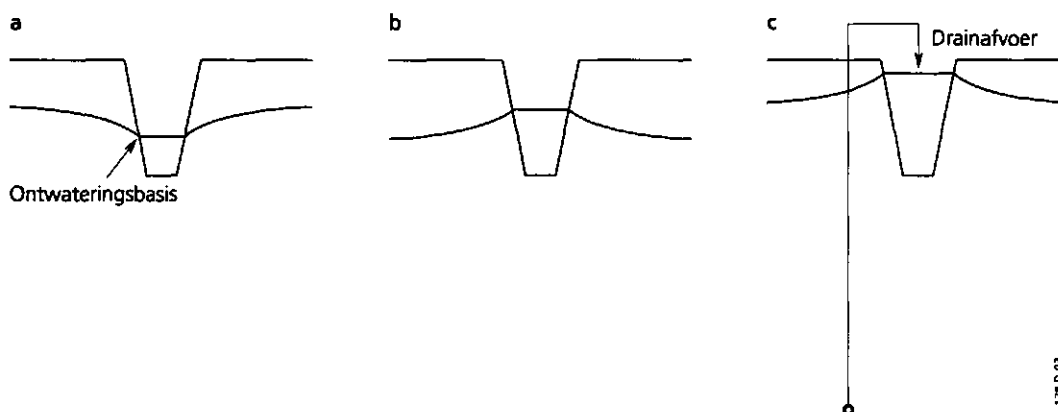
- De hydrologische situatie is te beschouwen als een twee-dimensionaal verticaal stromingsprobleem. Er wordt aangenomen dat de lokale stroming naar de perceelsloten overheerst ten opzichte van de regionale grondwaterstroming. De regionale grondwaterstroming wordt als extern gegeven beschouwd.
- Het betreft maatregelen op perceelsniveau. Alleen de lokale effecten van de maatregelen worden bekeken. Zie ook de tweede randvoorwaarde.
- Het fosfaat in de bodem bevindt zich voornamelijk in de bovengrond (0-50 cm-mv.). De ondergrond bevat vrijwel geen fosfaat.
- Het fosfaatbindend vermogen van de ondergrond wordt groot genoeg geacht om het fosfaat dat uit de fosfaatverzadigde laag desorbeert, te binden.

### Randvoorwaarden:

- Er wordt vanuit gegaan dat de mogelijkheid tot wateraanvoer voor peilbeheer niet aanwezig is. Vanwege de relatief grote helling van het gebied en het geringe open wateroppervlak is de bergingscapaciteit van het oppervlaktewater gering.
- In verband met de verdrogingsproblematiek mogen de maatregelen geen verlaging van de grondwaterstand en geen kwelveranderingen elders tot gevolg hebben. Er mag geen noemenswaardige beïnvloeding van de regionale hydrologie optreden. Aangenomen wordt dat de invloed van een maatregel op de regionale waterhuishouding gering is, wanneer de gemiddelde grondwaterstand en de stroming door de onderrand van het beschouwde profiel (kwel/wegzijging) niet of nauwelijks veranderen.
- De maatregelen mogen geen nadelige gevolgen voor het landbouwkundig gebruik van de percelen hebben.
- De maatregelen moeten in de praktijk uitvoerbaar zijn (technisch, financieel, maatschappelijk).

### 3 Mogelijke hydrologische maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling

Twee soorten maatregelen worden onderscheiden. De ene groep maatregelen heeft als doel de kans op het optreden van grondwaterstanden tot in de fosfaatverzadigde laag te verkleinen. De andere groep heeft als doel de ontwateringsfunctie van de perceelssloten (gedeeltelijk) uit te schakelen. De bedoeling hiervan is om de afvoer door de fosfaatverzadigde laag direct naar de sloot te verminderen en de afvoer voornamelijk via de ondergrond te laten plaatsvinden. De volgende maatregelen zijn onderzocht (zie ook figuur 3 en 4).



*Fig. 3 Gebruikte terminologie; a) afvoer uit het perceel (drainage), b) aanvoer naar het perceel (infiltratie), c) ontwatering via buizen en infiltratie*

Vermindering van frequentie van hoge grondwaterstanden:

- a) Intensievere drainage, door het aanleggen van (extra) drainbuizen of sloten.  
Bij hoge grondwaterstanden heeft dit een versnelde ontwatering tot gevolg, waardoor hoge grondwaterstanden worden verlaagd. Doordat extra water wordt afgevoerd, worden ook de lage grondwaterstanden meer of minder verlaagd. Extra drainage heeft dus een verlaging van de gemiddelde grondwaterstand tot gevolg.
- b) Intensievere drainage + verhoging van de ontwateringsbasis.  
Om de verlaging van de gemiddelde grondwaterstand als gevolg van de intensievere drainage tegen te gaan wordt het drainageniveau verhoogd. Er zijn drie mogelijkheden:
  - b1) Intensievere drainage en ondiepere sloten.  
De verhoging van de slootbodem heeft tot gevolg dat pas bij hogere grondwaterstand afvoer optreedt.
  - b2) Intensievere drainage en een vast (eventueel hoger) slootpeil met wateraanvoer.  
Doordat nu 's zomers bij grondwaterstanden beneden drainniveau infiltratie optreedt, wordt de gemiddelde grondwaterstand verhoogd. Om het slootpeil ook

's zomers in stand te houden is externe wateraanvoer noodzakelijk. Deze maatregel is uit het oogpunt van modelanalyse meegenomen in de berekeningen.

- b3) Intensievere drainage en tijdelijk een hoger peil. Het peil van de sloten varieert tussen een bepaald maximum in de afvoerperiode en minimum (slootbodem) in de zomer, afhankelijk van de afvoer uit het perceel (drainage) of de aanvoer naar het perceel (infiltratie). Door het hogere peil in de afvoerperiode en door het nu en dan optreden van infiltratie wordt een hogere gemiddelde grondwaterstand verkregen.

c) Peilbeheer.

Door tijdens de afvoerperiode het peil te verlagen wordt de afvoer verbeterd, waardoor hoge grondwaterstanden worden verlaagd. Op het einde van de afvoerperiode wordt de afvoer geremd door het peil op te zetten, zodat deze maatregel weinig invloed heeft op de gemiddelde grondwaterstand. Afhankelijk van de afvoer van en de aanvoer naar het perceel, daalt het peil daarna totdat de sloot droog valt.

(Gedeeltelijke) uitschakeling van de ontwateringsfunctie van de perceelssloten:

d) Vergroting maaiveldsberging.

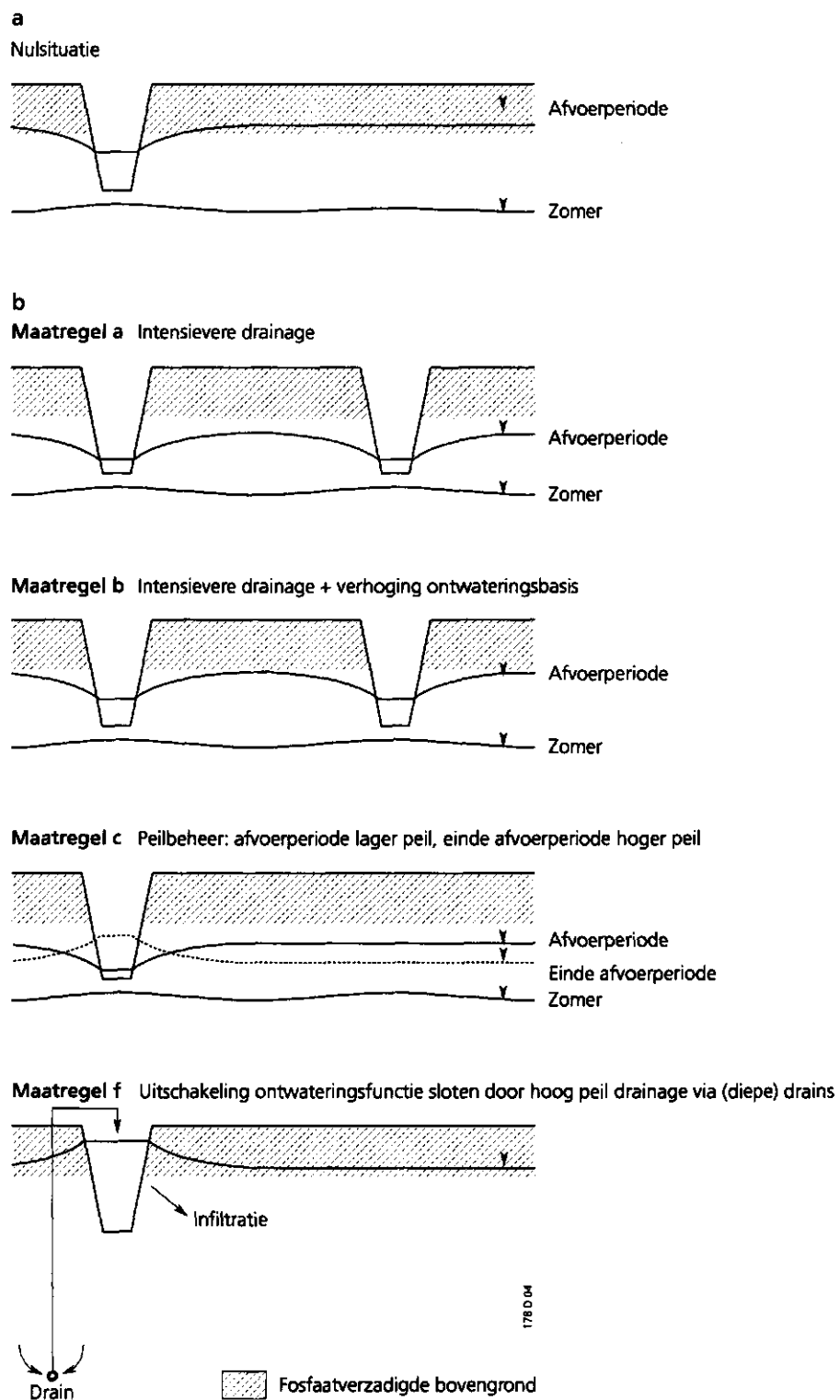
Egalisering en/of verhoging van het maaiveld langs de sloot vermindert de oppervlakte-afvoer.

e) Perceelssloten dichten en intensiever draineren met drainbuizen.

Bij deze maatregel worden de perceelssloten vervangen door drainbuizen. Hierbij wordt voorbijgegaan aan de landschappelijke waarde van de perceelssloten. Het is ook mogelijk het oppervlakkige transport naar de sloot te verhinderen door langs de sloot een ondoorlatend scherm aan te brengen of de taluds te bekleden met ondoorlatend materiaal.

f) Hoog peil in de sloten + drainage via diepe drains.

De drains zorgen voor de ontwatering. Ze monden uit op een andere afwaterings-sloot of worden bemalen. Het hoge slootpeil voorkomt afvoer naar de sloot; in plaats daarvan infiltreert er water vanuit de sloot naar het perceel. Door de drain-afvoer naar de sloot te leiden kan het hoge peil voor een bepaalde tijd gehandhaafd worden. De drains voeren alleen het neerslagoverschot af; het is dus niet de bedoeling om het perceel extra te ontwateren.



**Fig. 4** Schematische weergave van a) de nulsituatie, en b) waterbeheersmaatregelen a, b, c, en f ter vermindering van de fosfaatuitspoeling

## **4 Simulatieberekeningen**

### **4.1 Opzet van de berekeningen**

De gevolgen van de voorgestelde hydrologische maatregelen worden berekend met de simulatiemodellen SWACROP en ANIMO (paragraaf 4.2). Met behulp van SWACROP wordt de hydrologie gesimuleerd. SWACROP is uitgebreid met de mogelijkheid om voor een drainagesysteem de ontwateringsbasis (het slootpeil) te berekenen afhankelijk van de afvoer uit of de aanvoer naar het perceel. Dit is nodig voor enkele maatregelen met gestuwde slootpeilen. Per tijdstap worden o.a. de grondwaterstand, de vochtgehalten en de afvoerstromen berekend. ANIMO gebruikt deze gegevens bij de berekening van het transport en de adsorptie en desorptie van fosfaat.

De berekeningen worden uitgevoerd voor een fictief perceel, dat representatief is voor de natte gronden in het Schuitenbeekgebied. De benodigde data worden verzameld uit de literatuur, en gecombineerd met gegevens van het veldonderzoek dat in het kader van dit project wordt uitgevoerd.

De ontwateringssituatie is een belangrijk invoergegeven voor SWACROP. Een representatieve grondwaterstand-afvoer-relatie is verkregen op basis van berekende afvoeren bij gemeten grondwaterstanden op vijf locaties (paragraaf 4.3).

Om de invloed van meteorologische verschillen tussen de jaren te ondervangen worden de berekeningen uitgevoerd voor zes jaar, waaronder een nat en een droog jaar. De resultaten worden over deze zes jaar gemiddeld.

Als eerste is de huidige hydrologische situatie gesimuleerd. Vervolgens zijn voor elke maatregel diverse runs met SWACROP uitgevoerd met verschillende drain-afstanden, peilen, etc. Aan de hand van de gestelde randvoorwaarden is per maatregel de meest optimale uitvoering vastgesteld. Met ANIMO is voor de huidige situatie en voor de gekozen uitvoering van de acht maatregelen de af- en uitspoeling van fosfaat berekend.

Dit alles levert voor de verschillende maatregelen de waterbalans (met als termen o.a. af- en aanvoer per ontwateringsmiddel, oppervlakte-afvoer, gewasverdamping), de grondwaterstandduurlijn en de fosfaatuitspoeling per ontwateringsmiddel (oppervlakte-afvoer, ondiepe en diepe afvoer). Vergelijking van deze gegevens met de huidige situatie en van de maatregelen onderling, geeft aan welke maatregel perspectief biedt en wat eventueel de gevolgen voor de waterhuishouding zijn.

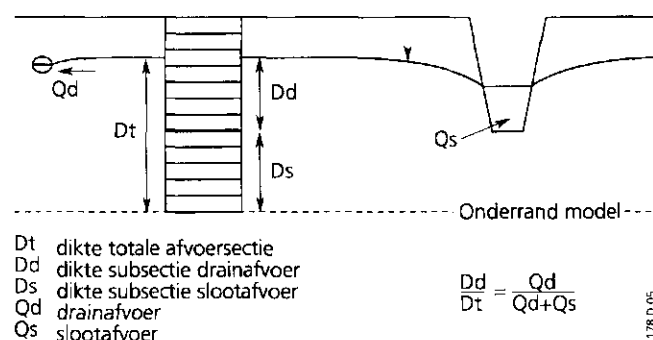
## 4.2 Toegepaste modellen

### 4.2.1 Het model SWACROP

Hieronder volgt een beknopte beschrijving van het SWACROP-model (Feddes et al., 1978; Belmans et al., 1983; De Jong and Kabat, 1990; Elbers, 1990).

Het hydrologisch model SWACROP beschrijft de een-dimensionale (verticale), onverzadigde waterstroming in een heterogeen bodem-wortelsysteem op basis van de wet van Darcy en de continuïteitsvergelijking. De combinatie van deze vergelijkingen wordt numeriek opgelost door het bodemprofiel in te delen in compartimenten. De fluxen tussen de compartimenten worden berekend op basis van de vochtgehalten en de sink-termen (t.w. gewasopname en laterale drainage). De volgende invoergegevens zijn vereist: waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek, bovenrandvoorwaarde in de vorm van neerslag en potentiële evapotranspiratie en onderrandvoorwaarde in de vorm van (berekende) flux of drukhoogte.

De wateronttrekking door wortels is een sink-term. De groeisnelheid van het gewas is gedefinieerd als een hyperbolische functie van de transpiratie, met de maximale groeisnelheid als bovengrens en de watergebruiksefficiëntie als initiële helling. Er worden maximaal vier drainagesystemen onderscheiden. Zij worden gedefinieerd door: ontwateringsbasis, dichtheid, diepte bodem, natte omtrek en vorm (sloot of buis) van het ontwateringsmiddel. De drainagefluxen worden berekend met de formule van Hooghoudt. Bij elk systeem kan drainage of infiltratie verboden worden; de drainage- en infiltratieweerstand zijn gelijk. Per drainagemiddel vindt de afvoer plaats vanuit een bepaalde subsectie van de totale afvoersectie (dat is de laag tussen grondwaterstand en onderkant modelprofiel). De hoogte van een subsectie verhoudt zich tot de totale hoogte van een sectie als de afvoer van een drainagemiddel tot de totale afvoer van de drainagemiddelen. Een voorbeeld met 2 drainagemiddelen is gegeven in figuur 5. De subsectie van een lage orde drainagemiddel bevindt zich boven de subsectie van een drainagemiddel van hogere orde. De drainageflux is evenredig verdeeld over de dikte van de subsectie. De totale drainageflux per compartiment wordt als laterale sink-term toegevoegd aan het numerieke oplossingschema.



**Fig. 5** Verdeling van de drainagefluxen van drainbuizen en sloten over de compartimenten van het bodemprofiel



Voor deze studie is SWACROP uitgebreid met de mogelijkheid om voor een bepaald drainagesysteem (bijv. sloot) de ontwateringsbasis (het slootpeil) te berekenen afhankelijk van de afvoer uit of de aanvoer naar het perceel. Op het einde van de dag worden de oppervlakte-afvoer, de afvoerfluxen van de drainagesystemen van lagere orde (bijv. greppel), de slootkwel en het neerslagoverschot op de sloot gesommeerd (formule 1). Deze hoeveelheid water komt in de sloot terecht en veroorzaakt een stijging van het slootpeil. Uit de slootbergingsverandering en de dimensies van de sloot wordt het nieuwe slootpeil berekend dat geldt gedurende de volgende dag (formule 2). Afhankelijk van de afvoer uit het perceel of de aanvoer naar het perceel kan het slootpeil stijgen tot een bepaald maximum (overstorthoogte stuw) of dalen tot een bepaald minimum (slootbodem).

De volgende formules zijn gebruikt:

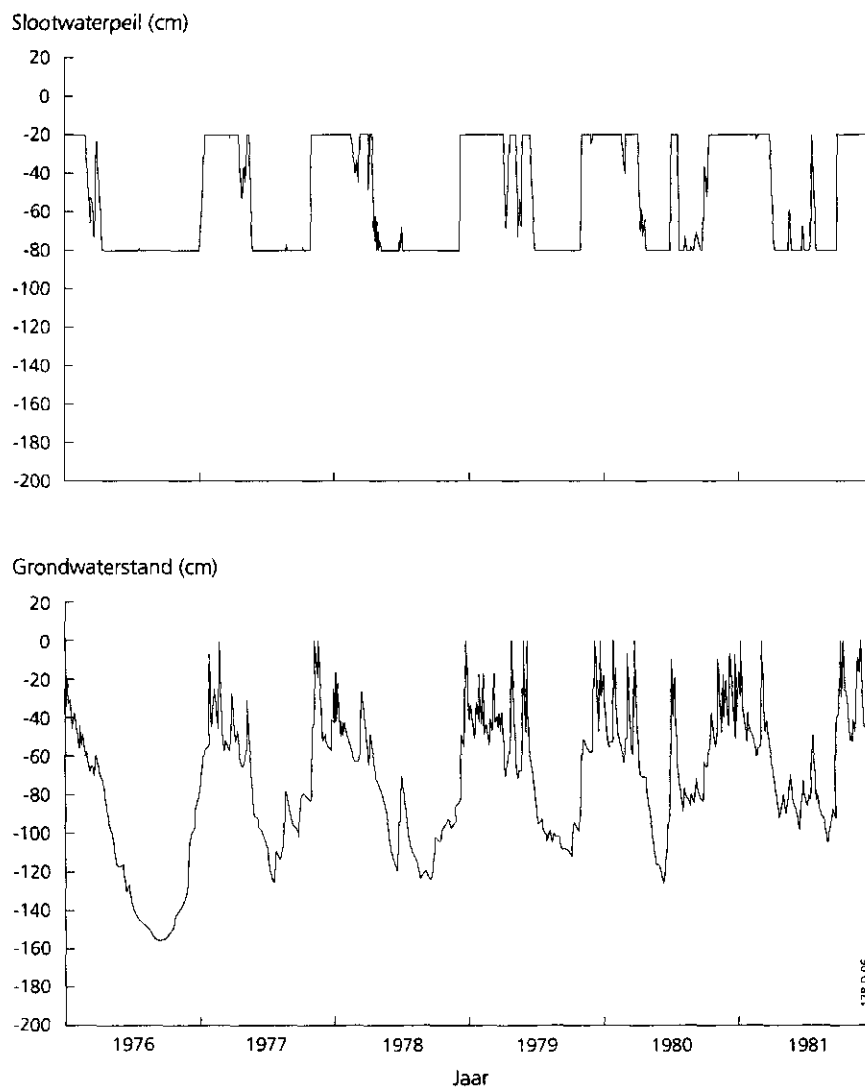
$$\Delta V / \Delta t = f_{\text{runoff}} * A + \sum f_{\text{drain}} * A + f_{\text{kwel}} * l * b + (N - E_0) * l * b \quad (1)$$

$$\Delta V = \{ (h_2^2 - h_1^2) / s + (h_2 - h_1) * b_0 \} * l \quad (2)$$

waarin:

$\Delta V$	= bergingsverandering sloot	(m <sup>3</sup> )
$\Delta t$	= tijdstap (1 dag)	(d)
$f_{\text{runoff}}$	= fluxdichtheid oppervlakte-afvoer (+)	(m.d <sup>-1</sup> )
$\sum f_{\text{drain}}$	= som fluxdichtheid drainage (+) of infiltratie (-)	(m.d <sup>-1</sup> )
$f_{\text{kwel}}$	= fluxdichtheid kwel (+) of wegzijging (-)	(m.d <sup>-1</sup> )
$N$	= neerslag	(m.d <sup>-1</sup> )
$E_0$	= open-water-verdamping	(m.d <sup>-1</sup> )
$A$	= ontwaterend oppervlakte (slootafstand * slootlengte)	(m <sup>2</sup> )
$l$	= slootlengte	(m)
$b$	= bovenbreedte sloot	(m)
$b_0$	= bodembreedte sloot	(m)
$h_1$	= oud slootpeil t.o.v. slootbodem	(m)
$h_2$	= nieuw slootpeil t.o.v. slootbodem	(m)
$s$	= helling talud (verticaal/horizontaal)	(-)

Omdat slechts een kleine fractie van het oppervlak uit open water bestaat, is de neerslagoverschotterm in formule 1 verwaarloosbaar klein ten opzichte van de overige termen. Deze term is hier buiten beschouwing gelaten. Als voorbeeld is in figuur 6 het verloop van een variabel slootpeil weergegeven.



**Fig. 6** Verloop van het slootpeil en de grondwaterstand ten gevolge van maatregel f (hoog slootpeil en drainage via drains). Het maximum peil is 20 cm - mv.; als minimum peil geldt de slootbodem op 80 cm - mv.

#### 4.2.2 Het model ANIMO

Hieronder volgt een beknopte beschrijving van het ANIMO-model (Agricultural NItrogen MOdel). Een meer uitgebreide beschrijving is te vinden in Kroes et al. (1990) en Rijtema et al. (i.v.).

Het waterkwaliteitsmodel ANIMO is een dynamisch simulatiemodel dat de koolstof-, stikstof- en fosforkringloop en hun interacties beschrijft. Het hoofddoel is het voorspellen van stikstof- en fosfaatbelasting van grond- en oppervlaktewater. ANIMO is zowel op perceelsniveau als op regionaal niveau toe te passen. Het model rekent met een een-dimensionaal bodemprofiel, dat onderverdeeld is in een aantal horizontale

lagen, maar berekent ook laterale fluxen van en naar het bodemprofiel (pseudo-twee-dimensionaal). Een hydrologisch model zoals bijvoorbeeld SWACROP levert de benodigde gegevens over vochtgehalten en waterfluxen. De volgende processen zijn van invloed op het transport van fosfaat door de bodem en zijn in ANIMO kwantitatief beschreven:

- toediening via meststoffen;
- gewasopname;
- mineralisatie en immobilisatie (niet in deze studie);
- adsorptie aan het bodemcomplex, voornamelijk aluminium- en ijzer(hydr)oxiden;
- neerslag van fosfaatzouten;
- waterbeweging.

In deze studie is het organische materiaal buiten beschouwing gelaten. Deze vereenvoudiging is geoorloofd omdat het in dit geval zandgronden betreft met fosfaat-verzadigde bovengrond. De hoeveelheid organisch gebonden fosfaat is verwaarloosbaar ten opzichte van de hoeveelheid aan aluminium en ijzer gebonden fosfaat. Bovendien gaat het hier om indicatieve berekeningen voor een korte periode van zes jaar.

De fosfaatadsorptie aan het bodemcomplex wordt beschreven met de genormaliseerde Freundlich isotherm (bij evenwicht) en een vergelijking voor de tijdsafhankelijkheid van de fosfaatadsorptie. Voor een gedetailleerde beschrijving van de formulering van de fosfaatprocessen wordt verwezen naar Rijtema et al. (i.v.).

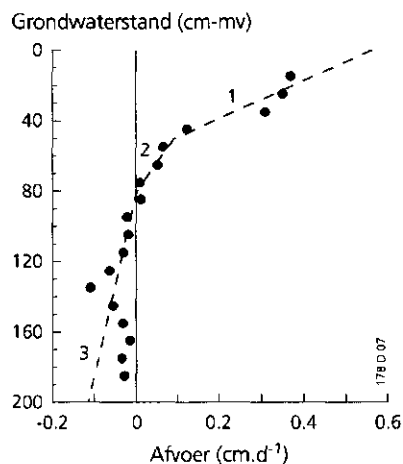
### **4.3 Bepaling ontwateringskarakteristiek**

De ontwateringssituatie kan beschreven worden met een geknikte grondwaterstand-afvoer-relatie. Een Q-h-relatie voor een bepaald gebied wordt opgesteld aan de hand van gemeten grondwaterstanden en afvoeren. Omdat er niet voldoende gegevens van afvoermetingen beschikbaar zijn, maar wel van grondwaterstanden, zijn op basis van (o.a.) gemeten grondwaterstanden met SWACROP de bijbehorende afvoeren berekend.

Er is gebruik gemaakt van vijf TNO-buizen met een geschikte en min of meer complete set grondwaterstandgegevens (L5507, L5510, L5511, L5512 en L5514 met grondwatertrap III en V, zie figuur 2). Voor elke buis apart is op basis van tweewekelijkse grondwaterstandgegevens, bodemfysische eigenschappen en het neerslagoverschot de totale netto afvoer berekend. Het neerslagoverschot wordt berekend uit bodem-, gewas- en meteogegevens. De berekeningen zijn uitgevoerd op dagbasis voor zes aaneengesloten jaren inclusief een nat en een droog jaar (1976 t/m 1981). De berekende afvoeren van 3 dagen voor tot en met 3 dagen na het meettijdstip van de grondwaterstand zijn gemiddeld en uitgezet tegen de gemeten grondwaterstand. De resultaten zijn verwerkt tot een gemiddelde Q-h-relatie, die representatief is voor de natte gronden in het stroomgebied van de Schuitenbeek.

Op basis van schouwkaarten en gegevens van de profielen van de watergangen (waterschap Noord-Veluwe) zijn voor het gebied enkele drainagesystemen onder-

scheiden, met drainagebases op 50, 80 en 140 cm - mv. Het aantal waterlopen is hierover als volgt verdeeld: 40% is circa 50 cm diep, 50% 80 cm diep en 10% 140 cm diep. Op grond hiervan kan de Q-h-kromme in drie lijnstukken verdeeld worden, die elkaar snijden op 50 en 80 cm - mv. Het derde lijnstuk stelt de aan- en afvoer aan de onderrand van het gedefinieerde profiel voor. De hellingen van de lijnstukken bepalen de drainageweerstand. Zie figuur 7.



**Fig. 7 Grondwaterstand-afvoer-relatie van het natte deel van het Schuitenbeekgebied**

De invloed van de keuze van de drainagesystemen op de simulatie van de kwaliteit van het afgevoerde water is onderzocht door verschillende combinaties van lijnstukken op de figuur met de gemiddelde afvoer per diepteklasse te fitten en SWACROP-TRANSOL-berekeningen uit te voeren met deze geknikte Q-h-krommen als onderrandvoorwaarde voor zes weerjaren. Met het model TRANSOL is het transport van een stof gesimuleerd, die niet aan de bodem adsorbeert, niet door het gewas wordt opgenomen en niet omgezet wordt. De initiële concentratie in het profiel is 0. Jaarlijks is in september een bepaalde hoeveelheid van deze stof toegediend.

De stofafvoer per drainagesysteem is vanzelfsprekend afhankelijk van de definitie van de drainagesystemen. Uit deze berekeningen blijkt dat de berekende totale afvoer van een inerte stof weinig gevoelig is voor de keuze van de drainagesystemen (aantal en diepte), mits zij gebaseerd zijn op dezelfde Q-h-gegevens. De totale stofafvoer berekend op basis van alternatieve Q-h-krommen wijkt maximaal 20% af van de afvoer berekend op basis van de indeling met twee afvoersystemen met drainagebases op 50 en 80 cm - mv. en kwel/wegzijging.

Twee indelingen van drainagesystemen zijn interessant: namelijk bovengenoemde (indeling 1) en de meest gedetailleerde beschrijving van de ontwateringssituatie door middel van 5 componenten (indeling 2). Bij de laatste indeling is behalve drie afvoersystemen (met drainagebases op 50, 80 en 140 cm - mv.) en kwel, ook een regionaal aanvoersysteem onderscheiden. Uit de gebiedsgemiddelde Q-h-relatie blijkt dat bij

grondwaterstanden dieper dan 120 cm - mv. de aanvoer toeneemt, terwijl bij grondwaterstanden dieper dan 150 cm - mv. de aanvoer in dezelfde orde van grootte is als boven de 120 cm - mv. De extra aanvoer kan voorgesteld worden als de regionale aanvoer van hoger gelegen delen (Veluwe). De grondwaterstanden dieper dan 150 cm - mv. komen alleen voor in de zomer van 1976. Dit was een droge zomer na een droge winter (van augustus 1975 t/m juli 1976 viel in Putten 578 mm neerslag). Daarom trad toen weinig regionale aanvoer op. Deze punten geven dus de kwel vanuit het tweede watervoerend pakket weer. Om het 'kwel'-lijnstuk te fitten zijn de drie extreme aanvoerwaarden (120 tot 150 cm - mv.) buiten beschouwing gelaten. Zowel de stijghoogte van het kwelwater als de weerstand (2,52 m + mv. en 15873 d) komen, gezien de onzekerheidsmarges van geohydrologische constanten, goed overeen met de uit literatuur bekende waarden (2 à 3 m + mv. en 10000 d; Houtman, 1985). Het 'regionale aanvoer'-lijnstuk is gefit op de punten van 100 tot 140 cm - mv.

De hoeveelheid water en stof die met de oppervlakte-afvoer en naar het ondiepe systeem wordt afgevoerd, is bij beide indelingen ongeveer gelijk. De afvoer naar het tweede drainagesysteem is bij de gedetailleerde indeling groter. Het derde drainagesysteem, de kwel, en de regionale aanvoer bij indeling 2, zijn bij indeling 1 samen-gevoegd in de term kwel/wegzijging.

Als uitgangspunt voor de simulatie van maatregelen is indeling 1 genomen omdat:

- 1) de verschillen tussen beide indelingen zich diep afspelen en daarom bij fosfaattoepassingen verwaarloosbaar zijn;
- 2) bij de gebiedsbenadering een eenvoudige beschrijving past;
- 3) deze beschrijving van de ontwateringssituatie eenvoudig is en daardoor gemakkelijk te gebruiken.

#### **4.4 Gegevens huidige situatie en maatregelen**

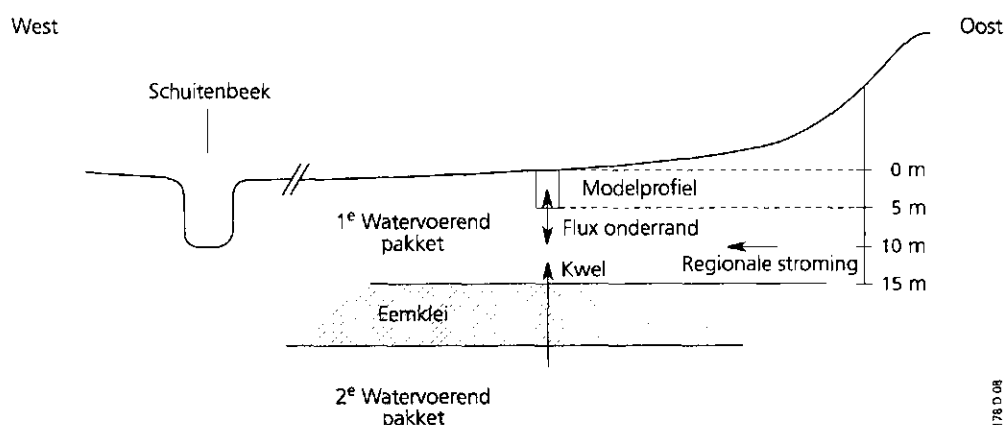
Als uitgangspunt voor de simulaties van de maatregelen zijn eerst de hydrologie en fosfaatuitspoeling in de huidige situatie gesimuleerd (nulsituatie). Hieronder volgt een beschrijving van de belangrijkste invoergegevens.

Het modelprofiel is opgebouwd uit 20 rekenlagen van 10 cm en 6 van 50 cm. De onderrand is 5 m beneden maaiveld. De eerste slecht doorlatende laag (kleilig gedeelte van de Eem-formatie) bevindt zich op 15 m diepte, buiten het modelprofiel. Er worden drie bodemlagen onderscheiden: de bovengrond van 0-20 cm, een ondergrond van 20-200 cm en een meer doorlatende ondergrond van 200-500 cm. De bodemfysische gegevens, namelijk waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken, zijn ontleend aan respectievelijk bouwsteen B2 en O2 van de 'Staringreeks' (zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand) (Wösten et al., 1987). Voor de laag 200-500 cm is bouwsteen O2 gewijzigd voor wat betreft de verzadigde doorlatendheid ( $5 \text{ m.d}^{-1}$ ) en het vochtgehalte bij verzadiging ( $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ).

De situatie aan de bovenrand wordt gedefinieerd door de neerslag, bodem- en gewas-verdamping. De meteorologische gegevens (neerslag, netto straling, temperatuur,

vochtigheid en windsnelheid op 2 m hoogte) zijn van De Bilt van 1976 tot en met 1981 op dagbasis. De potentiële evapotranspiratie is berekend volgens Monteith-Rijtema. De gewasparameters zijn gekozen zoals gebruikelijk voor gras (Peerboom, 1990; De Jong en Kabat, 1990). Van de oppervlakte cultuurgrond is 80% in gebruik als grasland.

De situatie aan de onderrand wordt vastgelegd door de definitie van de drainage-systemen. De ontwateringssituatie is bepaald zoals beschreven in paragraaf 4.3. Er worden twee niveau's onderscheiden met drainagebasis op 50 en 80 cm - mv., die voor de duidelijkheid greppels en sloten genoemd worden. Zij hebben alleen een drainerende functie. Wanneer de grondwaterstand beneden het greppel- of slootpeil is gedaald, treedt geen infiltratie vanuit greppel of sloot op: deze staat droog. De flux aan de onderrand is de resultante van eventuele diepere drainagesystemen, kwel vanuit het tweede watervoerende pakket, en regionale aan- en afvoer (figuur 8). Deze flux wordt met kwel/wegzijging aangeduid en kan zowel drainerend als infiltrerend zijn. De huidige ontwateringssituatie staat vermeld in tabel 1.



**Fig. 8 Het modelprofiel in een schematische doorsnede van het Schuitenbeekgebied. De flux door de onderrand modelprofiel is de resultante van eventuele diepere drainagesystemen, kwel vanuit het tweede watervoerende pakket, en regionale stroming**

De bodembreedte van de sloten en greppels is 30 cm, de bovenbreedte van de sloten 200 cm en van de greppels 150 cm en de helling van het talud is bij beide 1:1. Deze gegevens worden gebruikt bij de berekening van een afvoerafhankelijk peil (paragraaf 4.2.1).

**Tabel 1 Huidige ontwateringssituatie**

Drainage systeem	Drainage basis (cm - mv.)	Drainage	Infiltratie	Weerstand (d)	Afstand (m)
greppels	50	ja	nee	147	300
sloten	80	ja	nee	510	550
onderrand	79	ja	ja	1075	-

Het fosfaatprofiel met de diepte, zowel voor geadsorbeerd als voor opgelost fosfaat, is ingevoerd zoals gemeten op de onderzoekslocatie (tabel 2). De maximale hoeveelheid fosfaat die geadsorbeerd kan worden, is gebaseerd op het gehalte aan oxalaat-extraheerbaar aluminium en ijzer. De diverse fosfaatparameters zijn afgeleid uit een eerder onderzoek in het Schuitembeekgebied (Jeurissen, 1989). De gewasonttrekking  $P_2O_5$  bedraagt  $110 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ . De bemesting is gelijk aan de gewasonttrekking (eindnorm voor gras) en vindt plaats begin maart en half september.

**Tabel 2** Fosfaatconcentratie in het bodemvocht (voor bemesting), hoeveelheid geadsorbeerd fosfaat en maximaal adsorbeerbare hoeveelheid fosfaat, alsmede de fosfaatverzadigingsgraad. De getallen zijn gebaseerd op gemiddelden van metingen in 1990 en 1991 op proeflocatie 'de Hoef'

Diepte (cm)	P-concentratie ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	P-geadsorbeerd ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Max. adsorptie ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	$P_{\text{ox}}/(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ (-)
0-10	0,97	1,45	3,76	0,39
10-20	1,97	1,61	4,05	0,40
20-30	1,02	1,47	4,97	0,30
30-40	0,20	0,75	3,61	0,21
40-50	0,31	0,36	2,26	0,16
50-60	0,31	0,16	1,33	0,12
60-70	0,11	0,04	0,85	0,04
70-80	0,11	0,04	0,53	0,08
80-90	0,10	0,02	0,76	0,03
90-100	0,10	0,05	1,40	0,04
100-110	0,10	0,05	1,82	0,03
110-120	0,10	0,03	0,97	0,03
>120	0,10	0,02	0,7	0,03

Om de hydrologie en fosfaatuitspoeling ten gevolge van de diverse maatregelen te simuleren wordt de ontwateringssituatie gewijzigd. De overige invoer blijft hetzelfde. De meest optimale ontwateringssituatie voor elke maatregel, gezien de gestelde randvoorwaarden, wordt in tabel 3 vermeld. Bij maatregel d (vergroting van de maaiveldsberging) is de ontwatering hetzelfde als bij de huidige situatie, m.u.v. de maximale maaiveldsberging. Deze bedraagt 1 cm in plaats van 0 cm. Bij maatregel b3 (intensievere drainage en tijdelijk hoger peil) en f (hoog slootpeil en drainage via diepe drains), varieert het slootpeil tussen 80 cm - mv. en respectievelijk 60 en 20 cm - mv. gedurende het hele jaar. Bij maatregel c (peilbeheer) is het greppelpeil van 1 augustus tot 31 maart konstant 70 cm - mv.; van april tot en met juli varieert het peil tussen 70 en 40 cm - mv afhankelijk van de afvoer uit en de aanvoer naar het perceel.

**Tabel 3 Ontwateringssituatie bij de diverse maatregelen**

	Drainage basis (cm - mv.)	Drainage	Infiltratie	Weerstand (d)	Afstand (m)	Toename factor drainage- dichtheid (m.m <sup>-1</sup> )
<i>huidige situatie:</i>						
greppels	50	ja	nee	147	300	1
sloten	80	ja	nee	510	550	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	
<i>a) intensievere drainage:</i>						
greppels	50	ja	nee	147	300	<u>1,4</u>
sloten	80	ja	nee	<u>255</u>	<u>395</u>	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	
<i>b1) intensievere drainage en ondiepere sloten:</i>						
greppels	50	ja	nee	147	300	<u>1,6</u>
sloten	<u>70</u>	ja	nee	<u>188</u>	<u>335</u>	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	
<i>b2) intensievere drainage en vast peil (wateraanvoer):</i>						
greppels	50	ja	nee	147	300	<u>2</u>
sloten	80	ja	<u>ja</u>	<u>127</u>	<u>275</u>	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	
<i>b3) intensievere drainage en tijdelijk hoger peil:</i>						
greppels	50	ja	nee	147	300	<u>2</u>
sloten	<u>60-80</u>	ja	<u>ja</u>	<u>127</u>	<u>275</u>	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	
<i>c) peilbeheer:</i>						
greppels	<u>40-70<sup>*)</sup></u>	ja	<u>ja</u>	147	300	1
sloten	80	ja	nee	510	550	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	
<i>e) 'greppels' dichtten:</i>						
greppels	-	-	-	-	-	<u>1,4</u>
sloten	80	ja	nee	<u>255</u>	<u>395</u>	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	
<i>f) hoog slootpeil en afvoer via diepe drains:</i>						
drains	<u>70</u>	ja	nee	147	300	1
sloten	<u>20-80</u>	ja	<u>ja</u>	510	550	
onderrand	79	ja	ja	1075	-	

<sup>\*)</sup> 1 augustus t/m 31 maart constant 70 cm - mv.



## 5 Resultaten en discussie

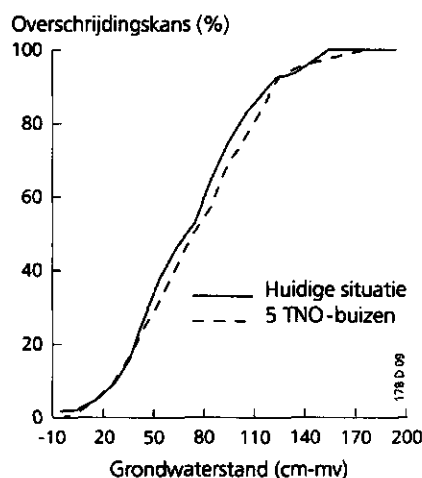
In de huidige situatie bedraagt het neerslagoverschot  $258 \text{ mm.jaar}^{-1}$  en de gewasverdamping  $341 \text{ mm.jaar}^{-1}$  (gemiddelde van 6 jaar). De verdeling van het neerslagoverschot over de verschillende afvoerposten staat in tabel 4.

**Tabel 4** Procentuele verdeling van de water- en fosfaatafvoer over de verschillende afvoerposten in de huidige situatie

	Water (%)	Fosfaat (%)
Oppervlakte-afvoer	10	5
Greppelafvoer	40	95
Slootafvoer	46	0
Netto wegzijging	4	0

De gemiddelde grondwaterstand is 76 cm - mv. De berekende overschrijdingskansen van de grondwaterstand staat in figuur 9 samen met de gemiddelde overschrijdingskansen van de grondwaterstand van de vijf TNO-buizen uit het Schuitenbeekgebied (par. 4.3). De kans op grondwaterstanden ondieper dan 50 cm is 28%.

De fosfaatbelasting van het oppervlaktewater is hoofdzakelijk afkomstig van de greppelafvoer (95%), het overige van de oppervlakte-afvoer. De slootafvoer draagt nauwelijks bij aan de fosfaatbelasting. De geringe bijdrage van de fosfaatafspoeling is het gevolg van het feit dat er geen mest uitgereden wordt in de periode met de grootste kans op oppervlakte-afvoer (de wintermaanden).



**Fig. 9** Grondwaterstandsduurlijn van de huidige situatie en de gemiddelde grondwaterstandsduurlijn van 5 TNO-buizen

Voor elke voorgestelde maatregel zijn meerdere runs uitgevoerd met verschillende invoergegevens, zoals definitie van de drainagesystemen, grootte van de maaivelds-

berging. Alleen de resultaten van de meest optimale uitvoering van elke maatregel, gezien de gestelde randvoorwaarden en zoals vermeld in tabel 3, worden hier behandeld.

Als randvoorwaarde is gesteld dat een maatregel geen grote invloed mag hebben op de regionale hydrologie. Wanneer de veranderingen in de gemiddelde grondwaterstand en de afvoer door de onderrand van het beschouwde profiel op de percelen waar de maatregel uitgevoerd wordt, klein zijn, is het aannemelijk dat de gevolgen voor de regionale hydrologie gering zijn. De netto afvoer via de onderrand van het profiel bij de voorgestelde maatregelen wijkt maximaal  $9 \text{ mm.jaar}^{-1}$  af van die in de huidige situatie. Omdat de netto wegzijging in de huidige situatie slechts 4% van de totale afvoer bedraagt, zijn deze verschillen verwaarloosbaar. Wanneer de maatregelen toegepast worden op een deelgebied, zal dit naar verwachting geringe invloed hebben op kwel/wegzijging elders in het gebied. De gemiddelde grondwaterstand ten gevolge van de voorgestelde maatregelen verschilt niet meer dan 4 cm van die in de huidige situatie (tabel 5). Uit het voorgaande wordt geconcludeerd dat de invloed van de onderzochte maatregelen op de regionale waterhuishouding naar verwachting gering zal zijn.

Een andere randvoorwaarde is dat een maatregel het landbouwkundig gebruik van de percelen niet nadelig mag beïnvloeden. De berekeningen zijn uitgevoerd voor grasland. Uit deze berekeningen blijkt dat de gewasverdamping door de voorgestelde maatregelen nauwelijks beïnvloed wordt (100% à 104% van de huidige situatie).

**Tabel 5 Gemiddelde grondwaterstand voor de diverse hydrologische maatregelen**

Maatregel	Gemiddelde grondwaterstand (cm - mv.)	Daling (+) of stijging (-) t.o.v. de nulsituatie (cm)
0	76	
a	80	+4
b1	79	+3
b2	73	-3
b3	76	0
c	79	+3
d	75	-1
e	77	+1
f	74	-2

Het effect van elke maatregel op de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater blijkt uit de met ANIMO berekende af- en uitspoeling van fosfaat. Daarnaast is het zinvol om ook de hoogte van de grondwaterstand en de waterbalans te bekijken.

Bij het beoordelen van het effect van de maatregelen op de fosfaatbelasting zijn de volgende aspecten van belang:

- \* De kans op een grondwaterstand tot in de fosfaatverzadigde laag. Hoe kleiner deze kans, hoe lager ook de verwachte fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Op basis van resultaten van veldonderzoek is voor de diepte met een verhoogd fosfaatgehalte de laag 0-50 cm - mv. genomen. De overschrijdingskans van de

grondwaterstand is berekend uit de dagelijks berekende grondwaterstand. De kans op een grondwaterstand ondieper dan 50 cm - mv. staat in tabel 6. Grondwaterstandsduurlijnen zijn opgenomen in aanhangsel 1.

- \* De (verhouding van de) afvoertermen van de waterbalans: oppervlakte-afvoer, drainage via ondiep en diep systeem (resp. greppels en sloten). Vindt de afvoer voornamelijk plaats via het diepe systeem, dan heeft het meegevoerde fosfaat grotere kans om alsnog aan de bodem gebonden te worden dan bij ondiepe afvoer of oppervlakte-afvoer. De waterbalans van de verschillende maatregelen staat vermeld in tabel 7. De relatieve afvoer per drainagesysteem ten opzichte van de afvoer per drainagesysteem in de huidige situatie is weergegeven in tabel 8.
- \* De fosfaatuitspoeling. De fosfaatuitspoeling per drainagesysteem is berekend met ANIMO. Gezien de onzekerheden in deze berekeningen is het niet zinvol om absolute cijfers te presenteren. De effecten kunnen beter beoordeeld worden aan de hand van de relatieve afvoer per drainagesysteem ten opzichte van de totale afvoer in de huidige situatie. Zie figuur 10.

**Tabel 6 Kans op grondwaterstand ondieper dan 50 cm - mv. in % van de huidige situatie**

Maatregel	Overschrijdingskans
0	100
a	71
b1	76
b2	39
b3	86
c	56
d	102
e	89
f	101

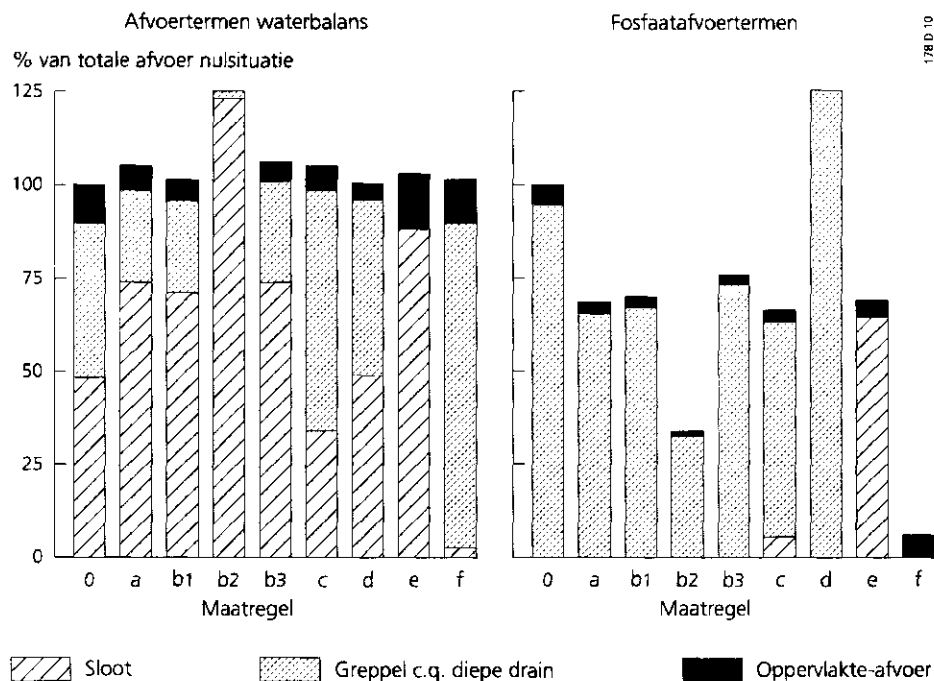
**Tabel 7 Gemiddelde waterbalans in mm.jaar<sup>-1</sup>**

Maatregel	Neerslag over-schot	Oppervlakte afvoer	Greppel-infiltratie	Greppel-afvoer	Sloot-infiltratie	Sloot-afvoer	Afvoer via diepe drain	Netto afvoer onder-rand
0	258	26	0	104	0	118	-	10
a	255	15	0	62	0	183	-	-5
b1	252	12	0	63	0	177	-	0
b2	246	4	0	27	110	306	-	19
b3	251	12	0	67	19	183	-	8
c	255	14	3	160	0	85	-	-1
d	259	9	0	116	0	122	-	12
e	258	36	-	-	0	217	-	+5
f	260	28	-	-	4	4	217	15

**Tabel 8 Afvoertermen waterbalans in % van de huidige situatie**

Maatregel	Oppervlakte-afvoer	Greppel-afvoer	Sloot-afvoer
0	100	100	100
a	58	60	155
b1	47	60	150
b2	17	26	259
b3	44	65	155
c	55	155	72
d	34	112	104
e	140	0	184
f	107	0	3

Aan de hand van tabel 5 t/m 8 en figuur 10 worden hierna de resultaten van de maatregelen behandeld.



**Fig. 10 De afvoertermen van de waterbalans en de fosfaatbalans van de verschillende waterbeheersmaatregelen**

Vermindering van de frequentie van hoge grondwaterstanden:

a) Intensievere drainage

Verdubbeling van de drainage intensiteit ( $d^{-1}$ ) van de sloten geeft een kans op grondwaterstanden ondieper dan 50 cm - mv. van 71% ten opzichte van de huidige situatie. De hoeveelheid oppervlakte-afvoer en drainage via de greppels zijn lager, en de hoeveelheid drainage via de sloten is hoger dan in de nulsituatie. De fosfaatafvoer via oppervlakte-afvoer en greppelaafvoer zijn

afgenomen. De totale fosfaatafvoer bedraagt 69% ten opzichte van de huidige situatie. Intensievere drainage heeft het verwachte effect. De gemiddelde grondwaterstand daalt in dit geval slechts 4 cm.

b) Intensievere drainage + verhoging van de ontwateringsbasis

Voor de drie mogelijkheden geldt dat de hoeveelheid oppervlakte-afvoer en drainage via de greppels lager zijn, en de hoeveelheid drainage via de sloten hoger is dan in de nulsituatie. De kans op grondwaterstanden ondieper dan 50 cm - mv. is voor maatregel b1), b2) en b3) respectievelijk 76, 39 en 86%. De fosfaatafvoer via oppervlakte-afvoer en greppelafvoer zijn afgenomen. De totale fosfaatafvoer bedraagt resp. 70, 34 en 76% t.o.v. de huidige situatie. Het grootste effect heeft maatregel b2) met een vast (eventueel ondieper) slootpeil, 4 keer zo grote drainage-intensiteit en wateraanvoer. Het grondwaterstandsverloop is vlakker dan in de nulsituatie. Om het peil op 80 cm - mv. te handhaven is circa 110 mm.jaar<sup>-1</sup> aanvoer nodig. Naar verwachting zijn de mogelijkheden voor wateraanvoer in het Schuitenbeekgebied echter gering. Vermindering van de fosfaatuitspoeling van dezelfde orde als ten gevolge van maatregel a) wordt verkregen door de drainage intensiteit met factor 2.7 te verhogen en de ontwateringsbasis van 80 naar 70 cm - mv. te verhogen (maatregel b1) of door de drainage intensiteit met factor 4 te verhogen en de ontwateringsbasis te laten variëren tussen 60 en 80 cm - mv., waarbij zowel drainage als infiltratie optreedt (maatregel b3). In dit geval bedraagt de infiltratie vanuit de sloot naar het perceel circa 19 mm.jaar<sup>-1</sup>. Het slootpeil daalt, zodat hiervoor geen extra wateraanvoer nodig is. Zie ook de figuur van het tijdsverloop van het peil in aanhangsel 2.

c) Peilbeheer

Door de ontwateringsbasis van de greppels te verlagen van 50 naar 70 cm - mv., en vanaf het einde van de afvoerperiode (1 april) het peil te laten variëren tussen een maximum peil (40 cm - mv.) en de slootbodem (70 cm - mv.) wordt de kans op grondwaterstanden ondieper dan 50 cm - mv. 56%, terwijl de gemiddelde grondwaterstand slechts 3 cm lager is dan in de nulsituatie. Een figuur van het tijdsverloop van het peil staat in aanhangsel 2. De afvoer via de greppels is groter dan in de nulsituatie, ten koste van de hoeveelheid oppervlakte-afvoer en drainage via de sloten. De fosfaatafvoer via oppervlakte-afvoer en greppels is circa de helft van die in de nulsituatie. De grotere hoeveelheid water die via de greppels wordt afgevoerd, voert kennelijk minder fosfaat mee. Hiervoor zijn de volgende verklaringen:

- Doordat hoge grondwaterstanden minder frequent voorkomen en de ontwateringsbasis gedurende de afvoerperiode dieper is, vindt de stroming naar de greppel dieper plaats.
- Het fosfaatfront is gezakt. De fosfaatafvoer via de sloot is slechts 5% van de totale fosfaatafvoer in de nulsituatie. De slootafvoer is ten gevolge van deze maatregel kleiner, de fosfaatafvoer via de sloot echter groter dan in de nulsituatie. Dit kan alleen verklaard worden door een diepere ligging van het fosfaatfront ten gevolge van deze maatregel.

Deze berekeningen dienen in het vervolgproject geverifieerd te worden. De totale

fosfaatafvoer bedraagt 66% ten opzichte van de nulsituatie.

(Gedeeltelijke) uitschakeling van de ontwateringsfunctie van de perceelssloten:

d) Vergroting maaiveldsberging

Verhoging van het maaiveld langs de sloot zorgt dat de hoeveelheid oppervlakte-afvoer sterk vermindert (tot circa 9 mm.jaar<sup>-1</sup>). De greppelafvoer is 12% hoger dan in de nulsituatie, en de slootafvoer en de gemiddelde grondwaterstand veranderen nauwelijks. De fosfaatafvoer via oppervlakte-afvoer is weliswaar lager dan in de nulsituatie, maar de kleine toename van de greppelafvoer veroorzaakt een grote toename van de fosfaatafvoer via de greppels. De totale fosfaatafvoer is zelfs hoger, en bedraagt 125% t.o.v. de nulsituatie. In de periode met de grootste kans op oppervlakte-afvoer (de wintermaanden) wordt geen mest uitgereden en dus is de fosfaatafspoeling gering. De mestgift vindt in deze berekeningen plaats in maart en september. Vermindering van de oppervlakte-afvoer vergroot de greppelafvoer. Doordat het naar de greppel stromende water meer fosfaat meevoert dan de oppervlakte-afvoer, heeft deze maatregel in de situatie waar hier mee gerekend is, een averechts effect. Of vermindering van de oppervlakte-afvoer de totale fosfaatbelasting reduceert hangt af van de verhouding tussen fosfaatafspoeling en -uitspoeling in de huidige situatie. Wanneer de fosfaatafspoeling ten opzichte van de uitspoeling een belangrijkere rol speelt (bijvoorbeeld bij andere mesttoedieningstijdstippen, meer oppervlakte-afvoer), kan vermindering van de oppervlakte-afvoer wel de totale fosfaatbelasting verminderen.

e) Perceelssloten dichten en intensiever draineren met drainbuizen

Het dichten van de perceelssloten, hier greppels genoemd, en het verdubbelen van de drainage-intensiteit geeft meer oppervlakte-afvoer dan in de nulsituatie. De afvoer via de greppels is vanzelfsprekend nul, terwijl 84% van de totale afvoer via de sloten en drainbuizen plaatsvindt. Doordat de afvoer voornamelijk via het diepe systeem (sloten en drainbuizen) plaatsvindt, kan meer fosfaat gebonden worden. De totale fosfaatafvoer is 69% t.o.v. de huidige situatie. De gemiddelde grondwaterstand is nauwelijks veranderd.

f) Hoog peil in de sloten + drainage via diepe drains

Wanneer het slootpeil varieert tussen 20 en 80 cm - mv. en de afvoer verzorgd wordt door drains met ontwateringsbasis op 70 cm - mv., dan treedt nauwelijks afvoer op naar de sloot (circa 4 mm.jaar<sup>-1</sup>). Er infiltreert jaarlijks circa 4 mm vanuit de sloot naar het perceel (zie aanhangsel 2). Door de diepe ligging van de drains (bijvoorbeeld 2 à 3 m - mv.), voeren zij in ieder geval op korte termijn geen fosfaat af. De enige fosfaatbelasting van het oppervlaktewater wordt gevormd door de oppervlakte-afvoer. Ten opzichte van de nulsituatie worden de af- en uitspoeling van fosfaat tot 5% gereduceerd. Op langere termijn kan de bodem rond de drainbuizen met fosfaat verzadigd raken. Voor de waterhuishouding heeft deze maatregel weinig gevolgen: het grondwaterstandsverloop verandert nauwelijks en de gemiddelde grondwaterstand stijgt 2 cm.

Samenvattend reduceren de meeste maatregelen de totale fosfaatafvoer tot zo'n 65 à 75% van de fosfaatafvoer in de huidige situatie. Deze reducties van de fosfaatuitspoeling zijn realiseerbaar met eenvoudige technische middelen (diepe drains, stuwen), zonder het landbouwkundig gebruik van de percelen te hinderen en zonder de kwel en het grondwaterstandsverloop op perceelsniveau noemenswaardig te veranderen. Toch valt bij toepassing van een hydrologische ingreep op een groter gebied aan enige beïnvloeding van de regionale hydrologie niet te ontkomen.

Maatregel b2 (intensievere drainage en een vast slootpeil met wateraanvoer) geeft een fosfaatafvoer van 34% t.o.v. de huidige situatie. De mogelijkheden voor wateraanvoer zijn in het Schuitenbeekgebied echter gering. Maatregel f), waarbij het neerslagoverschot door de drains wordt afgevoerd en de ontwateringsfunctie van de perceelssloten uitgeschakeld wordt door het slootpeil op te zetten, stopt de fosfaatuitspoeling in ieder geval op korte termijn vrijwel geheel. Alleen afspoeling van fosfaat treedt nog op, circa 5% van de totale fosfaatbelasting in de nulsituatie. Of en op welke termijn de bodem rond de drainbuizen fosfaatverzadigd raakt, hangt onder andere af van de fosfaatverzadigingstoestand van de bodem, de diepte van de drainbuizen en een eventuele combinatie van deze maatregel met een zogenaamde 'chemische' maatregel (toediening van ijzer- of aluminiummateriaal aan de bodem of in de drainsleuf). Berekeningen voor de lange termijn met een twee-dimensionaal model geven daar informatie over. Maatregel f) is de meest perspectiefrijke maatregel.

Beperkingen en opmerkingen ten aanzien van deze modelstudie:

SWACROP en ANIMO zijn een-dimensionale (pseudo-twee-dimensionale) modellen, en zijn daarom minder geschikt om de fosfaatvastleggingscapaciteit van de ondergrond rond de drainbuizen en de termijn waarop de bodem rond de drainbuizen zal doorslaan, te simuleren (maatregel f). Het transport en de sorptie rond drainbuis en sloot dienen nauwkeuring beschreven te worden met een twee-dimensionaal model.

Er is gebruik gemaakt van zowel literatuur- als veldgegevens. Met de gegevens, die bij het veldonderzoek dat in het kader van dit project plaatsvindt nog beschikbaar zullen komen, kunnen met name de fosfaat-, organische-stof-, en stikstofparameters beter onderbouwd worden.

Met behulp van SWACROP en ANIMO wordt de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater onderscheiden naar verschillende drainagesystemen berekend. De processen in het oppervlaktewater worden niet gesimuleerd. Bij maatregel f) bijvoorbeeld komt via de diepe drain fosfaatarm water in de sloot. Door nalevering van fosfaat uit de slootbodem kan het fosfaatgehalte van het slootwater alsnog stijgen.

Bij de berekeningen met ANIMO is het organisch materiaal en dus de koolstof- en stikstofkringloop buiten beschouwing gelaten. Voor het transport van fosfaat in fosfaatverzadigde zandgronden is het organisch materiaal van minder belang. De hydrologische maatregelen kunnen echter ook invloed hebben op de stikstofuitspoeling. Met het (complete) ANIMO-model kunnen ook de effecten op de stikstofuitspoeling geëvalueerd worden.

Deze berekeningen van de effecten van de hydrologische maatregelen op 'korte' termijn zijn uitgevoerd voor 6 jaar. Voordat een maatregel op grotere schaal in de praktijk wordt uitgevoerd dienen eerst de gevolgen voor de waterhuishouding, de fosfaat- en stikstofuitspoeling op lange termijn (bijvoorbeeld 30 jaar) gesimuleerd te worden.



## 6 Conclusies en aanbevelingen

Alle acht onderzochte hydrologische maatregelen zijn zo uitvoerbaar dat de gemiddelde grondwaterstand en de kwel/wegzijging nauwelijks veranderen, en daarom de beïnvloeding van de regionale hydrologie gering zal zijn bij toepassing op kleine schaal. Met uitzondering van de maatregel met externe wateraanvoer (b2; intensieve drainage met een vast slootpeil) zijn de onderzochte maatregelen realiseerbaar met eenvoudige technische middelen. De bedrijfsvoering ondervindt weinig last van de maatregelen. De gewasverdamping wordt niet of nauwelijks beïnvloed door de maatregelen.

Het voorkomen van afvoer naar de sloot door het peil hoog op te zetten en het neerslagoverschot via diepe drainbuizen (bijvoorbeeld 2 à 3 m - mv.) af te voeren, blokkeert in ieder geval op korte termijn de fosfaatsuitspoeling vrijwel geheel. Alleen de afspoeling van fosfaat speelt nog een kleine rol, mits geen mest uitgereden wordt in de winterperiode, vanwege de kans op oppervlakte-afvoer. De totale fosfaatafvoer is tot 5% verminderd.

Reductie van hoge grondwaterstanden door intensievere drainage, eventueel met verhoging van de ontwateringsbasis, of door verlaging van het peil in de afvoerperiode en verhoging op het einde van de afvoerperiode, vermindert de totale fosfaatafvoer tot circa 70%.

Uitschakelen van de ontwateringsfunctie van de perceelssloten door ze te dichten en te vervangen door drainbuizen of door de taluds ondoorlatend te maken, vermindert de totale fosfaatafvoer eveneens tot circa 70%.

Vergroting van de maaiveldsberging door egalisering en/of verhoging van het maaiveld langs de sloot heeft een averechts effect op de totale fosfaatafvoer. De fosfaatsuitspoeling naar het ondiepe drainagesysteem neemt meer toe dan de afspoeling van fosfaat vermindert.

Maatregel f (hoog peil in de sloten + drainage via diepe drains) biedt het meeste perspectief. Voordat deze maatregel in de praktijk en op grotere schaal wordt toegepast, verdient het volgende aanbeveling:

- met behulp van een twee-dimensionaal model en lange termijn berekeningen de fosfaatvastleggingscapaciteit rond de drains en de termijn waarop de bodem rond de drainbuizen zal doorslaan te bepalen, afhankelijk van de fosfaatverzadigingstoestand van de bovengrond, het fosfaatbindend vermogen van de ondergrond en de diepte en het afvoerend oppervlak van de drain;
- de gevolgen voor de regionale hydrologie te onderzoeken, wanneer een maatregel op grotere schaal wordt toegepast;
- de gevolgen voor de stikstofuitspoeling te bepalen met behulp van het ANIMO-model inclusief organisch materiaal;

- gebruik te maken van de gegevens, die bij het veldonderzoek dat in het kader van dit project plaatsvindt nog beschikbaar zullen komen, om de huidige situatie te definiëren en de parameters te calibreren.

## Literatuur

- Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983. 'Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE'. *Journal of Hydrology* 63: 271-286.
- Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink, O.F. Schoumans, D.J. Brus en H. Van het Loo, 1989. *Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuivenbeek*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 10.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monograph*. Wageningen, PUDOC, 189 pp.
- Houtman, H., 1985. *Grondwaterkaart van Nederland. Amersfoort-Oost. Kaartblad 32 Oost*. DGV-TNO, Delft,
- Jeurissen, L.J.J., 1989. *Toetsing van het waterkwaliteitsmodel ANIMO; fosfaat af- en uitspoeling op zand-grasland*. Wageningen, ICW, Nota 1970.
- Jong, R. de and P. Kabat, 1990. 'Modeling Water Balance and Grass Production'. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1725-1732.
- Kroes, J.G., C.W.J. Roest, P.E. Rijtema en L.J. Locht, 1990. *De invloed van enige bemestingsscenario's op de afvoer van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater in Nederland*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 55.
- Peerboom, J.M.P.M., 1990. *Waterhuishoudkundige schadefuncties op grasland*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 43.
- Steenvoorden, J.H.A.M., A. Breeuwsma, W.A. De boer en J.G.A. Reijerink, 1988. *Fosfaatuitspoeling uit een perceel met een fosfaatverzadigde bovengrond*. Wageningen, ICW, Rapport 34.
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Wageningen, ICW, Rapport 18.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische uitwerking*. Wageningen, Landbouw-universiteit.

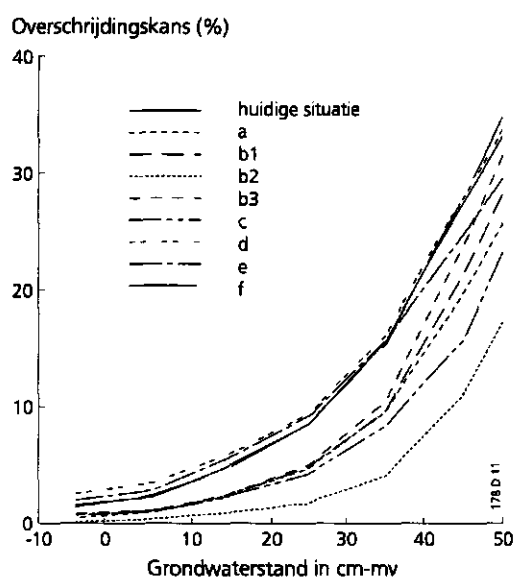
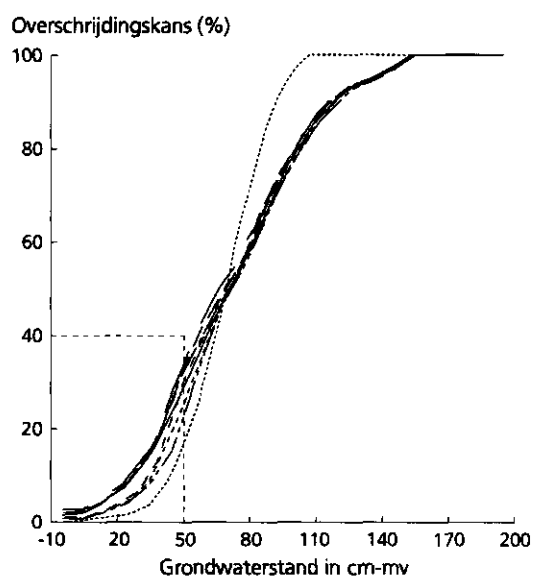
***Niet gepubliceerde bronnen***

Elbers, J.A., 1990. *Wijzigingen SWACROP*. Wageningen, Interne Mededeling 96, Staring Centrum.

Rijtema, P.E., C.W.J. Roest and J.G. Kroes, in voorbereiding. *Formulation of the nitrogen and phosphate behaviour in agricultural soils, the ANIMO model*. Wageningen, DLO Winand Staring Centre, Report 30.

## Aanhangsel 1

### Grondwaterstandsduurlijnen voor de huidige situatie en 8 hydrologische maatregelen



## Aanhangsel 2

**Tijdsverloop van het peil voor 3 hydrologische maatregelen; b3) intensievere drainage en tijdelijk een hoger peil, c) peilbeheer, en f) hoog peil in de sloten + drainage via diepe drains**

